

## Εργαστηριακή Άσκηση 6

### Διαμόρφωση FM

Σκοπός της έκτης σειράς ασκήσεων είναι η χρήση του MATLAB για επίλυση απλών προβλημάτων αναλογικής διαμόρφωσης. **Προτού ξεκινήσετε την άσκηση θα πρέπει να μελετήσετε με προσοχή την παράγραφο 2.5 του [Κεφαλαίου 2](#) των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος** που θα βρείτε στην ιστοσελίδα του μαθήματος. Το MATLAB ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)) είναι ένα διαδραστικό εμπορικό πρόγραμμα (Windows, Linux, Unix) με το οποίο μπορείτε να κάνετε εύκολα αριθμητικές πράξεις με πίνακες. Στο Εργαστήριο Προσωπικών Υπολογιστών (ΕΠΥ) της Σχολής θα βρείτε εγκατεστημένη την έκδοση R2014a. Μπορείτε επίσης να έχετε πρόσβαση στο MATLAB μέσω της ιστοσελίδας <https://cloudfront0.central.ntua.gr/sgd/hierarchy.jsp> του Κέντρου Υπολογιστών (ΚΗΥ) του ΕΜΠ (αφού περάσετε έλεγχο ταυτότητας με το όνομα χρήστη και συνθηματικό που σας έχει δοθεί από το ΚΗΥ). Εκεί είναι εγκατεστημένη η παλαιότερη έκδοση R2011b σε περιβάλλον είναι Linux. Η πρόσβαση μέσω του ΚΗΥ θα σας είναι χρήσιμη για να προετοιμαστείτε από το σπίτι, δυστυχώς όμως θα χρειαστείτε και μια παλαιότερη έκδοση της Java. Δείτε οδηγίες στην ιστοσελίδα <http://www.central.ntua.gr/wiki/cloud/cloudfront/#enter>.

Για να εισέλθετε στο σταθμό εργασίας του ΕΠΥ, χρησιμοποιείτε **το όνομα χρήστη και συνθηματικό για πρόσβαση στις ηλεκτρονικές υπηρεσίες του Ιδρύματος** (που σας έχει δοθεί από το ΚΗΥ). Μετά από επιτυχή ταυτοποίησή σας από τον εξυπηρετητή LDAP, θα αποκτήσετε πρόσβαση στον τοπικό υπολογιστή με όνομα χρήστη `labuser`. Εάν στην οθόνη δεν εμφανίζεται σχετικό παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή στο σύστημα, πιάστε ταυτόχρονα τα πλήκτρα `Alt+Ctrl+Del`. Στις συγκεκριμένες ασκήσεις, το λειτουργικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα Windows XP.

### Εισαγωγή

Το διαμορφωμένο κατά FM σήμα είναι  $s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right]$ , όπου η σταθερά  $k_f$  είναι η ευαισθησία συχνότητας. Με τη βοήθεια της απόκλισης συχνότητας  $\Delta f = \max \{ |k_f m(t)| \}$  και του κανονικοποιημένου σήματος  $x(t) = \frac{m(t)}{\max \{ |m(t)| \}}$  το σήμα FM μπορεί να γραφεί ως

$s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi \Delta f \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau \right]$ . Ο λόγος διαμόρφωσης ορίζεται ως

$D = \frac{\Delta f}{W} = \frac{k_f \max \{ |m(t)| \}}{W}$  όπου  $W$  το εύρος ζώνης του σήματος. Μια καλή προσέγγιση για το απαιτούμενο εύρος ζώνης μετάδοσης του σήματος FM δίδεται από τον κανόνα του Carson

$$B_T = \begin{cases} 2(\Delta f + W) = 2(D+1)W & D \gg 1 \text{ ή } D \ll 1 \\ 2(\Delta f + 2W) = 2(D+2)W & 2 < D < 10 \end{cases}$$

Η αποδιαμόρφωση του σήματος FM μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως η παραγωγή της φάσης της μιγαδικής περιβάλλουσας σήματος. Το σήμα FM μπορεί να γραφεί ως

$s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \theta(t)]$  με τη φάση να είναι  $\theta(t) = 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau$ . Προφανώς, το σήμα

πληροφορίας προκύπτει ως  $m(t) = \frac{1}{2\pi k_f} \frac{d}{dt} \theta(t)$ . Όμως, η φάση  $\theta(t)$  είναι η γωνία της μιγαδικής

περιβάλλουσας  $\tilde{s}(t) = A_c e^{j\theta(t)}$ , η οποία μπορεί να υπολογισθεί εύκολα, με τη βοήθεια του

μετασχηματισμού Hilbert, μέσω του ορισμού του αναλυτικού σήματος  $s_+(t) = s(t) + j\hat{s}(t) = \tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t}$ .

## Μέρος 1: Διαμόρφωση FM με τόνους

Αντιγράψτε τον κώδικα του παραδείγματος 2.5 της παραγράφου 2.5 από το εργαστηριακό τεύχος σε ένα καινούριο αρχείο M-file και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Στο παράδειγμα 2.5, το προς μετάδοση σήμα είναι άθροισμα ημιτονικών, οπότε το διαμορφωμένο κατά FM σήμα υπολογίζεται με τη βοήθεια του αναλυτικού τύπου και στη συνέχεια αποδιαμορφώνεται με τη βοήθεια μιας κατάλληλης συνάρτησης του MATLAB. Ως εφαρμογή των όσων μάθατε θα τροποποιήσετε τον κώδικα του παραδείγματος, ώστε να επιτύχετε το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά με τη βοήθεια άλλων συναρτήσεων και τεχνικών.

Ξεκινήστε με τις ακόλουθες μικρές αλλαγές στον κώδικα:

1. Θέσατε τη συχνότητα δειγματοληψίας στα 20 kHz και τη συχνότητα του φέροντος στα 5 kHz.
2. Τροποποιήστε τις συχνότητες του σήματος εισόδου ώστε να είναι 20 και 400 Hz, αντίστοιχα.
3. Θέσατε την απόκλιση συχνότητας `freqdev` ίση με 480 Hz.
4. Υπολογίστε τη μέγιστη απόλυτη τιμή `xmax` του σήματος πληροφορίας  $x$  καθώς και την ευαισθησία συχνότητας `kf`.
5. Υπολογίστε τους δείκτες διαμόρφωσης ως `b1=A1*kf/F1` και `b2=A2*kf/F2` αντικαθιστώντας<sup>1</sup> τους υπολογισμούς που περιέχονται στον κώδικα του παραδείγματος 2.5.
6. Υπολογίστε τον λόγο διαμόρφωσης  $D$  και την εκτίμηση κατά Carson για το απαιτούμενο εύρος ζώνης του σήματος FM.
7. Αντικαταστήστε το `freqdev` με `kf` στη γραμμή 19 του κώδικα του παραδείγματος.
8. Γράψτε `freqz` αντί `FREQZ` για να μην εμφανίζει το MATLAB μήνυμα λάθους.
9. Απλοποιήστε τον κώδικα της γραμμής 33 χρησιμοποιώντας το όρισμα `'same'` στη σύνταξη της `conv`.

Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του φυλλαδίου. Το MATLAB διαθέτει τη συνάρτηση `fmod` προκειμένου να παράγατε με εύκολο τρόπο σήματα FM. Αντί του μαθηματικού ορισμού, υπολογίστε τώρα το διαμορφωμένο σήμα FM χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `fmod` και θέτοντας `kf` στη θέση του ορίσματος για την `freqdev`. Επιβεβαιώστε ότι το αποτέλεσμα της αποδιαμόρφωσης είναι το ίδιο με πριν. Αποθηκεύσατε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab6_1_nnnnn.m`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Τώρα θα αντικαταστήσετε τη συνάρτηση `fmdemod` του MATLAB με την οποία γίνεται η αποδιαμόρφωση του σήματος με ισοδύναμο κώδικα που επιτελεί την ίδια λειτουργία. Προς τούτο υπολογίστε το αναλυτικό σήμα με τη βοήθεια της συνάρτησης `hilbert` και μετά τη μιγαδική περιβάλλουσα. Με αριθμητική παραγωγή της φάσης της μιγαδικής περιβάλλουσας (δείτε εισαγωγή) προκύπτει το σήμα πληροφορίας. Όμως ένας υπολογισμός της μορφής `diff(angle(s))` δεν οδηγεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα διότι η συνάρτηση `angle` του MATLAB επιστρέφει τη γωνία ενός μιγαδικού αριθμού σε ακτίνια στο διάστημα  $\pm\pi$ . Η φάση ενός σήματος είναι εν γένει μια συνεχής συνάρτηση, οπότε οι ασυνέχειες που εισάγει η `angle` πρέπει να απαλειφτούν. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει η συνάρτηση `unwrap`. Αφού συμβουλευθείτε τη βοήθεια του MATLAB για τις παραπάνω συναρτήσεις προσθέστε τις κατάλληλες εντολές που θα αντικαταστήσουν την `fmdemod`. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά που λάβατε προηγουμένως.

<sup>1</sup> Η ευαισθησία συχνότητας  $k_f$  και η απόκλιση συχνότητας  $\Delta f$  της θεωρίας είναι συντελεστές αναλογίας για το σήμα  $m(t)$  και την κανονικοποιημένη εκδοχή του  $x(t)$ , αντίστοιχα. Τα  $A_1/k_f$  και  $A_2/k_f$  είναι οι αντίστοιχες αποκλίσεις συχνότητας για τις συχνότητες  $f_1$  και  $f_2$ . Για περισσότερες πληροφορίες συμβουλευθείτε το βιβλίο του μαθήματος.

Υποβάλετε την εργασία σας

Αποθηκεύστε την τελευταία έκδοσή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα lab6\_2\_nnnnn.m, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση ως εξής:

1. Επιλέξτε από την ιστοθέση του μαθήματος την [Εργαστηριακή Άσκηση 6](#) στην ενότητα “Υποβολή αναφορών”.
2. Στη σελίδα που θα εμφανισθεί κάντε κλικ στο κουμπί “Browse”.
3. Αναζητήστε το αρχείο σας στο φάκελο εργασίας (My Documents\MATLAB) και επιλέξτε το.
4. Κάντε κλικ στο κουμπί “Αποστολή του αρχείου” για να ανεβάσετε την εργασία σας στον εξυπηρετητή.
5. Εάν θέλετε να κάνετε κάποια διόρθωση, ακολουθήστε την ίδια διαδικασία ανεβάσματος.
6. Μην οριστικοποιήσετε την υποβολή γιατί μετά δε θα μπορείτε να υποβάλετε την απάντηση του επόμενου μέρους της άσκησης.

Ερώτηση 1: Εναλλακτικά, μπορείτε να υπολογίσετε αριθμητικά την παράγωγο της φάσης χρησιμοποιώντας το ακόλουθο τέχνασμα `angle(conj(s(1:end-1)).*s(2:end))`. Γιατί; Γράψτε την απάντησή σας σε ένα αρχείο κειμένου lab6\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας, χρησιμοποιώντας το Notepad από το μενού των Windows (*Start* → *Programs* → *Accessories* → *Notepad*) και αποθηκεύστε το στον φάκελο My Documents. Θα υποβάλετε το αρχείο αυτό ηλεκτρονικά στο τέλος, αφού απαντήσετε και τις επόμενες ερωτήσεις, οπότε μπορείτε να το αφήσετε ανοικτό.

Στην πράξη η αποδιαμόρφωση του σήματος FM γίνεται με τη βοήθεια του κυκλώματος κλίσης και φωρατή περιβάλλουσας. Το κύκλωμα κλίσης έχει απόκριση της μορφής  $|H(f)| = K_0 + K_1(f - f_c)$  για θετικές συχνότητες,  $|H(f)| = -K_0 + K_1(f + f_c)$  για αρνητικές συχνότητες, όπου η κλίση  $K_1$  μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, και η φάση μεταβάλλεται γραμμικά ως προς τη συχνότητα. Η διάβαση σήματος FM μέσω του κυκλώματος κλίσης οδηγεί σε μετατροπή FM σε AM. Το σήμα εξόδου είναι  $y(t) = A_c [K_0 + K_1 \Delta f x(t - t_1)] \cos[2\pi f_c(t - t_0) + \phi(t - t_1)]$  και επομένως ο φωρατής περιβάλλουσας μπορεί να ανακτήσει το σήμα πληροφορίας. Για περισσότερες πληροφορίες συμβουλευθείτε το βιβλίο του μαθήματος.

Αντικαταστήστε τον κώδικα που παράγατε πριν με νέο που να αποδιαμορφώνει το σήμα FM χρησιμοποιώντας την τεχνική μετατροπής FM σε AM. Σχεδιάστε πρώτα φίλτρο Parks-McClellan τάξης 512, ζώνης διέλευσης την προβλεπόμενη από τον κανόνα Carson και απόκριση που μεταβάλλεται γραμμικά από 0 έως 1 ώστε να υλοποιήσετε τη λειτουργία του κυκλώματος κλίσης. Επιβεβαιώστε σχεδιάζοντας την απόκριση και τη φάση ότι αμφότερες μεταβάλλονται γραμμικά στην περιοχή διέλευσης. Για την υλοποίηση του φωρατή περιβάλλουσας χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `hilbert` σε συνδυασμό με την αφαίρεση της DC συνιστώσας (δείτε Εργαστηριακή Άσκηση 4). Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά που λάβατε προηγουμένως.

Ερώτηση 2: Εάν συγκρίνετε προσεκτικά τα αποτελέσματα των μεθόδων θα παρατηρήσετε ότι το αποδιαμορφωμένο σήμα που προκύπτει με το κύκλωμα κλίσης είναι ελαφρώς χειρότερο. Πού οφείλεται αυτή η διαφορά; Πώς αντιμετωπίζεται το θέμα αυτό στην πράξη;

Υποβάλετε την εργασία σας

Αποθηκεύστε την τελευταία έκδοσή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα lab6\_3\_nnnnn.m, όπου

nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

Στο τελευταίο διάγραμμα που παράγει ο κώδικας εμφανίζονται σε λογαριθμική κλίμακα 90 περίπου φασματικές συνιστώσες του διαμορφωμένου σήματος FM όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση σε σειρά σύμφωνα με τη θεωρία. Μια συντηρητική εκτίμηση για το αναγκαίο για τη μετάδοση του διαμορφωμένου σήματος FM εύρος ζώνης είναι να περιληφθούν όλες εκείνες οι συνιστώσες που έχουν πλάτος μεγαλύτερο του 0,1 (αντιστοιχούν σε ισχύ μεγαλύτερη του 0,01 της συνολικής του σήματος). Μια περισσότερο ακριβής εκτίμηση είναι να περιληφθούν όλες εκείνες οι συνιστώσες που έχουν πλάτος μεγαλύτερο του 0,01.

**Ερώτηση 3:** Ποιο είναι το αναγκαίο εύρος ζώνης σύμφωνα με τις παραπάνω θεωρήσεις και πόσο το εύρος ζώνης που υπολογίσατε με τον κανόνα του Carson; Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο κειμένου lab6\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Επαναλάβετε τον θεωρητικό υπολογισμό του φάσματος για απόκλιση συχνότητας 960 Hz.

**Ερώτηση 4:** Ποιο είναι τώρα το αναγκαίο εύρος ζώνης σύμφωνα με τις παραπάνω θεωρήσεις και πόσο το εύρος ζώνης που υπολογίσατε με τον κανόνα του Carson; Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο κειμένου lab6\_nnnnn.txt, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

## **Μέρος 2: Διαμόρφωση FM αναλογικού σήματος**

Θα εφαρμόσετε τώρα ότι μάθατε προηγουμένως στην περίπτωση ενός δειγματοληπτημένου αναλογικού σήματος. Κατεβάστε από την ιστοσελίδα του μαθήματος το αρχείο sima\_lp.mat και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Το αρχείο περιέχει δείγματα αναλογικού σήματος `sima_lp`, τη συχνότητα δειγματοληψίας  $F_s$  καθώς και διάνυσμα συχνοτήτων αποκοπής  $f_c$ . Το σήμα `sima_lp` είναι βαθυπερατό, έχει συχνότητα δειγματοληψίας 8.192 Hz και διάρκεια περίπου 0,7 sec.

Αντιγράψτε τον κώδικα του παραδείγματος 2.6 της παραγράφου 2.5 από το εργαστηριακό τεύχος σε ένα καινούριο αρχείο M-file και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB).

Ξεκινήστε με τις ακόλουθες αλλαγές στον κώδικα

1. Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `interp` αντί της `upsample` προκειμένου να αυξήσετε τον ρυθμό δειγματοληψίας του σήματος `sima_lp`. Η χρήση της `interp` σας απαλλάσσει από την ανάγκη διάβασης μέσω βαθυπερατού φίλτρου, οπότε θα πρέπει να αφαιρέσετε τις σχετικές γραμμές κώδικα και να παράγετε το σήμα πληροφορίας `s` απ' ευθείας από το `sima_lp`.
2. Κανονικοποιήστε το σήμα πληροφορίας ώστε το μέγιστο πλάτος του να είναι 1.
3. Θέστε τη συχνότητα φέροντος  $F_c$  στα 12,5 kHz.
4. Θέστε την απόκλιση συχνότητας `freqdev` ίση με 500 Hz.
5. Απλοποιήστε τον κώδικα των γραμμών 36 και 46 χρησιμοποιώντας το όρισμα 'same' στη σύνταξη της `conv`.
6. Στην γραφική παράσταση όπου αντιπαρατίθενται το αρχικό και το αποδιαμορφωμένο σήμα απεικονίστε τα σημεία από 4.000 έως 7.000.

Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του φυλλαδίου. Αποθηκεύστε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab6_4_nnnnn.m`, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Αντικαταστήστε την `fmddemod` με κώδικα που να υπολογίζει το σήμα πληροφορίας από την παράγωγο της φάσης της μιγαδικής περιβάλλουσας. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά που λάβατε προηγουμένως.

#### Υποβάλετε την εργασία σας

Αποθηκεύστε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab6_5_nnnnn.m`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1.

Τώρα θα αντικαταστήσετε τη συνάρτηση `fmmmod` του MATLAB με την οποία γίνεται η διαμόρφωση του σήματος με ισοδύναμο κώδικα που επιτελεί την ίδια λειτουργία. Προς τούτο θα υπολογίσετε το αριθμητικά το ολοκλήρωμα του σήματος πληροφορίας που εμφανίζεται στον μαθηματικό ορισμό του σήματος FM. Ο υπολογισμός του ολοκληρώματος είναι εξαιρετικά απλός. Μπορείτε να το υπολογίσετε επαναληπτικά ξεκινώντας με την τιμή μηδέν και προσθέτοντας την εκάστοτε επόμενη τιμή δείγματος πολλαπλασιασμένη με την απόσταση μεταξύ δειγμάτων  $t_s=1/F_s$ . Εναλλακτικά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την συνάρτηση `cumtrapz` του MATLAB. Αφού συμβουλευθείτε τη βοήθεια του MATLAB προσθέστε τις κατάλληλες εντολές που θα αντικαταστήσουν την `fmmmod`. Επιβεβαιώστε την ορθή λειτουργία του τροποποιημένου κώδικα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά που λάβατε προηγουμένως.

#### Υποβάλετε την εργασία σας

Αποθηκεύστε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab6_6_nnnnn.m`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1.

Επαναλάβετε την εκτέλεση του κώδικα για απόκλιση συχνότητας 500 και 2.500 Hz και στάθμη θορύβου 25 και 40 db (4 περιπτώσεις αντίστοιχες των σχημάτων του φυλλαδίου). Παρατηρήστε με προσοχή τις διαφορές αρχικού και αποδιαμορφωμένου σήματος πληροφορίας. Θα δείτε ότι το αποδιαμορφωμένο σήμα προσεγγίζει καλύτερα το αρχικό στην περίπτωση που η απόκλιση συχνότητας είναι μεγαλύτερη.

Ερώτηση 5: Δώστε μια εξήγηση για την παραπάνω παρατήρηση. Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο κειμένου `lab6_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Αφαιρέστε τώρα το ζωνοπερατό φίλτρο πριν την αποδιαμόρφωση και επαναλάβετε την εκτέλεση του κώδικα για απόκλιση συχνότητας 2.500 Hz και στάθμη θορύβου 40 db. Θα παρατηρήσετε ότι το αποδιαμορφωμένο σήμα είναι χειρότερο σε σχέση με τα αποτελέσματα που είχατε λάβει προηγουμένως.

Ερώτηση 6: Δώστε μια εξήγηση για την παραπάνω παρατήρηση. Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο κειμένου `lab6_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

Ερώτηση 7: Μπορείτε να παραλείψετε το βαθυπερατό φίλτρο (γραμμές 41 έως 46 του αρχικού κώδικα) που ως είσοδο έχει το αποδιαμορφωμένο σήμα FM; Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο κειμένου `lab6_nnnnn.txt`, όπου `nnnnn` τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας.

### **Μέρος 4: Αποδιαμόρφωση πραγματικής εκπομπής FM**

Κατεβάστε από την ιστοσελίδα του μαθήματος το αρχείο `sima_FM.mat` και αποθηκεύστε το στο φάκελο εργασίας σας. Το αρχείο περιέχει ένα μιγαδικό διάνυσμα  $s$  και τη μεταβλητή  $F_s$ . Το διάνυσμα  $s$  είναι αποτέλεσμα δειγματοληψίας ραδιοερασιτεχνικής εκπομπής FM στενής ζώνης στα

VHF στην περιοχή των 145,5 MHz διάρκειας 10 s με ρυθμό  $F_s = 512$  kSample/s. Φορτώστε το αρχείο `simu_FM.mat` στο MATLAB και σχεδιάστε το φασματόγραμμα. Θα παρατηρήσετε την ύπαρξη μιας σχετικά φαρδιάς κάθετης λωρίδας ενδεικτικής της εκπομπής FM. Προσδιορίστε κατά προσέγγιση τη συχνότητα εκπομπής. Για να αποδιαμορφώσετε το επιθυμητό σήμα θα πρέπει να το απομονώσετε από τυχόντα άλλα σήματα εντός της περιοχής συντονισμού του δέκτη. Όπως γνωρίζετε ο πιο απλός τρόπος, που δεν εξαρτάται από το είδος διαμόρφωσης, συνίσταται στη μετατόπιση του φάσματος που ενδιαφέρει προς τα κάτω, βαθυπερατό φιλτράρισμα και τέλος αποδιαμόρφωση. Για την αποδιαμόρφωση του σήματος FM εργαστείτε όπως στις προηγούμενες εργαστηριακές ασκήσεις επιλέγοντας κατάλληλη τιμή για τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή και αποδεκατίζοντας αποδιαμορφωμένο σήμα σε ακουστικές συχνότητες μέχρι 4 kHz. Τέλος σχεδιάστε το φάσμα του αποδιαμορφωμένου σήματος εξόδου με τη βοήθεια της συνάρτησης `pwelch` του MATLAB.

### Υποβάλετε την εργασία σας

Αποθηκεύστε την τελευταία εκδοχή του κώδικά σας ως αρχείο M-file στο φάκελο εργασίας σας (My Documents\MATLAB). Χρησιμοποιήστε για το αρχείο το όνομα `lab6_7_nnnnn.m`, όπου nnnnn τα πέντε τελευταία νούμερα του αριθμού μητρώου σας και υποβάλετε την εργασία σας για βαθμολόγηση όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο Μέρος 1.

### Ολοκληρώστε την υποβολή των αρχείων

1. Υποβάλετε το αρχείο `lab6_nnnnn.txt` ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία.
2. Εάν χρειαστεί μπορείτε να κάνετε διορθώσεις υποβάλλοντας εκ νέου τα διορθωμένα αρχεία.
3. Όταν είστε σίγουροι, προχωρήστε στην οριστικοποίηση κάνοντας κλικ στο κουμπί “Αποστολή για βαθμολόγηση” και απαντήστε καταφατικά στην ερώτηση που θα ακολουθήσει.